



ステレオPIVを用いた超音速境界層及び超音速噴射流れ場の乱れ構造に関する実験的研究

著者	浦本 翔平
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	11301甲第15796号
URL	http://hdl.handle.net/10097/58635

うら もとしょうへい

氏 名 浦 本 翔 平

授 与 学 位 博士 (工学)

研究科, 専攻の名称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 航空宇宙工学専攻

学 位 論 文 題 目 ステレオ PIV を用いた超音速境界層及び超音速噴射流れ場の
乱れ構造に関する実験的研究

指 導 教 員 東北大学教授 浅井 圭介

論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 浅井 圭介 東北大学教授 澤田 恵介
東北大学教授 小林 秀昭 東北大学教授 升谷 五郎

(工学教育院)

要約

将来の宇宙輸送システムや極超音速航空機用のエンジンとして有望視されているスクラムジェットの実用化に向けて、最も重要な課題の一つに超音速空気流中に噴射した燃料の迅速な混合がある。この流れ場の混合は主として乱流輸送現象により生じるものであるが、亜音速流において乱流混合を支配する大規模な横渦構造の発達、同エンジン燃焼器内の超音速流中では圧縮性効果によって抑制される可能性がある。噴射を伴う複雑な超音速乱流流れ場の構造の実験的解明は困難であり、これまで十分に行われて来なかった。特に乱流輸送の駆動力となる速度場については、3方向の速度成分を計測する必要がある。近年、流れ場にレーザを照射し、トレーサ物質からの散乱光を測定して、その移動量とレーザ照射の時間間隔から流速を求める粒子画像速度計 (PIV) による計測が適用されつつある。中でも、2方向から同時に粒子画像を撮影し、立体視することによって速度の3成分を測定できるステレオ PIV の測定は3次元流れ場の理解に有用である。しかしこれまでの計測は平均速度の測定に限られており、乱流による速度変動強度やレイノルズ応力の測定結果はほとんど報告されていない。本研究は、ステレオ PIV を用いて、スクラムジェット燃焼器を模擬した超音速噴射流れ場の平均及び変動速度場を計測し、更に速度変動データからそれらの2点空間相関を求めることにより、乱れ構造を解明している。本論文は、これらの研究成果をとりまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的および構成を述べている。

第2章では、大気吸込み式超音速風洞の壁面境界層内の速度を計測し、従来の報告されている測定値と比較することにより、本研究で使用するステレオ PIV システムの測定結果の信頼性を検証している。また、境界層内に境界層厚さよりはるかに長い距離にわたって広がる **very large-scale motion (VLSM)** が存在していることを示している。次に、空気を噴射した場合の平均及び変動速度場並びに速度変動の空間相関から乱れ構造を検討し、噴射孔径の4倍程度下流では噴流背後の対向渦対の幅方向の振動が顕著であり、8倍程度下流では対向渦対の高さ方向の振動が顕著になることを見出している。これらは超音速噴射流れ場の乱れ構造に関する重要な知見である。

第3章では、超音速噴射流れ場に影響を及ぼす可能性のある3種類の上流からの変動について、空間相関を用いてそれらの影響を評価している。まず、主流中の乱れについては、下流への影響がほとんど見られないことを報告している。次に、ラバルノズルで発生し噴射孔付近に入射する弱い衝撃波の振動については、噴射孔前方の剥離衝撃波と限られた範囲で弱い相関を持つものの、噴流とは相関を持たな

いことを示している。最後に上流境界層の乱れについては、噴射の影響が及ばない上流の主流方向速度変動が剥離衝撃波、弓形衝撃波及び噴流領域の速度変動と相関を有することを示し、これが境界層の VLSM によって引き起こされることを示している。これらの上流の変動の影響はこれまで調べられたことがなく、混合促進法開発の基礎データとして実用上重要である。

第4章では、スクラムジェットで使用する可能性のある燃料である水素から炭化水素系燃料について、分子量が乱流混合に及ぼす影響を調べるために、ヘリウム、空気及びクリプトンを噴射気体とする実験を行い平均及び変動速度場を測定している。初めに3種の噴射気体に対する粒子画像を例示し、瞬時の噴流形状の特徴を示した後、変動速度の空間相関を比較し、噴射気体分子量が超音速混合場の乱流構造に及ぼす影響を論じている。これは、分子量の影響を検証するためのデータベースとして有用である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、ステレオ PIV により速度の3成分の平均及び変動統計量並びに速度変動の空間相関を求め、超音速噴射流れ場の乱流構造を解明すると共に、それに対する上流の変動や噴射気体種の影響を調べたもので、航空宇宙工学および推進工学の発展に寄与するところが少なくない。